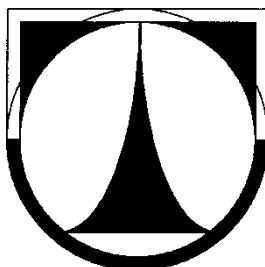


**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**  
FAKULTA STROJNÍ  
Katedra vozidel a motorů



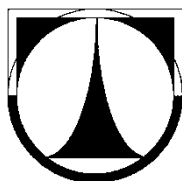
Vysokoobjemové zařízení pro vzorkování částic  
A High Volume Device Particle Sampler

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

David Baše

Květen 2012

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**  
**FAKULTA STROJNÍ**  
Katedra vozidel a motorů



Vysokoobjemové zařízení pro vzorkování částic  
A High Volume Device Particle Sampler

Bakalářská práce

KVM – BP – 239

David Baše

Vedoucí bakalářské práce: Michal Vojtíšek, M.Sc. Ph.D

Konzultant bakalářské práce: Ing. Martin Mazač

Počet stran: 41  
Počet obrázků: 22  
Počet příloh: 2  
Počet výkresů: 13

Květen 2012

## Vysokoobjemové zařízení pro vzorkování částic

**Anotace:** Tato práce se zabývá návrhem zařízení pro vysokoobjemové vzorkování částic gravimetrickou metodou. Zvláště se pak zaměřuje na konstrukci držáku filtru s ohledem na jeho těsnost, jeho ochranu proti protržení, snadnou výměnou a zástavbou. Dále je kladen důraz na výběr vhodného ventilátoru k prosávání vzorku přes filtr, a to s ohledem na parametry průtoku- tlakovou ztrátu a regulaci výkonu, jsou upřednostněny běžně dostupné turbíny vysavačů (domácích i průmyslových). Výstupem práce je návrh uspořádání vzorkovacího zařízení včetně vhodné skříně a zástavby všech snímačů, dále potom rozpis materiálu a výkresy potřebné k sestrojení prototypu.

**Klíčová slova:** držák filtru, ventilátor, prototyp, vzorkování, pevné částice, filtr, vysokoobjemový vzorkovač, výfukové plyny, gravimetrické měření

## A High Volume Device Particle Sampler

**Annotation:** This work deals with a design of a high volume device particle sampler that uses the gravimetric method. In particular, it focuses on a construction of a filter holder considering its narrowness, cracking protection, simple replacement and installation. Then the work emphasizes a choice of a suitable ventilator for ventilating the sample through the filter, considering the flow rate parameters - the pressure loss and regulation of the performance. Ordinarily available hoover turbines are preferred (mass-produced as well as industrial). The result of the work is a draft of the sampler device's arrangement, including a suitable case, an installation of all sensors and the list of materials and drawings needed for the construction of the prototype.

**Key words:** a filter holder, a ventilator, the prototype, a sampling, solid particles, a filter, a high volume sampler, exhaust gases, gravimetric measurement

Desetinné třídění:

Zpracovatel:

Dokončeno :

TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra vozidel a motorů  
2012

## Prohlášení k využívání výsledků bakalářské práce

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom(a) povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

V ..... dne .....

.....  
podpis

### **Poděkování**

Touto cestou bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce Michalu Vojtíškovi, M.Sc. Ph.D. a konzultantovi bakalářské práce Ing. Martinu Mazačovi za pomoc při přípravě bakalářské práce, podmětné rady a náměty při tvorbě a za čas strávený při konzultacích. Rád bych také poděkoval Ing. Martinu Pechoutovi a všem, kteří mi dali cenné rady při tvorbě bakalářské práce.

**Seznam symbolů a jednotek**

CO <sub>2</sub>	Oxid uhličitý
H <sub>2</sub> O	Voda
CO	Oxid uhelnatý
H <sub>2</sub>	Vodík
N <sub>2</sub>	Dusík
NO <sub>x</sub>	Oxidy dusíku
O <sub>2</sub>	Kyslík
HC	Nespálené uhlovodíky
SO <sub>2</sub>	Oxid siřičitý
PM	Pevné částice
PTFE	Polytetrafluorethylen

m	Hmotnost	[kg]
V	Objem	[m <sup>3</sup> ]
U	Napětí	[V]
I	Proud	[A]
P	Příkon	[W]

např.	například
atd.	a tak dále

1. Emise výfukových plynů	10
1.1. Složení výfukových plynů spalovacího motoru	10
1.1.1. Sledované emisní složky	11
2. Systémy měření	12
2.1. Systémy měření pevných částic	12
2.1.1. Přímé hmotnostní měření koncentrace částic	12
2.1.1.1. Metody ředění spalin	13
2.1.1.1.1. Systém s ředěním části toku	13
2.1.1.1.2. Systém s ředěním plného toku	14
2.1.2. Měření kouřivosti filtrační metodou	15
2.1.3. Opacimetrie	15
2.2. Metody pro zjišťování koncentrace plynných složek	16
2.2.1. Měření založené na principu absorpce infračerveného záření	16
2.2.2. Měření založené na principu absorpce ultrafialového záření	16
2.2.3. Měření s využitím chemické luminiscence	16
3. Parametry vzorkovacího zařízení	17
3.1. Volba filtru	17
3.2. Volba ventilátoru, řízení výkonu ventilátoru	18
3.3. Volba snímačů	21
3.3.1. Snímač průtoku	21
3.3.2. Snímač tlaku	22
3.3.3. Snímač teploty	23
4. Konstrukce zařízení	24
4.1. Model sestavy	24
4.1.1. Nerezová redukce	25
4.1.2. Držák filtru	26
4.1.2.1. Těsnění filtru	30
4.1.3. Víka ventilátoru	31
4.1.4. Skříň zařízení	32
4.1.5. Zástavba snímačů	33
4.2. Rozpis materiálu	33
4.3. Ventilátor zařízení	35
4.3.1. Triakový regulátor	36

5. Závěr bakalářské práce	37
5.1. Seznam literatury	38
5.2. Rozpočet	39
5.3. Přílohy	40
5.3.1. Listy snímačů	40
5.3.2. Výkresová dokumentace	41



## Úvod

V mé bakalářské práci na téma konstrukce vysokoobjemového zařízení pro vzorkování částic, se zabývám návrhem a konstrukcí tohoto zařízení. Prohléd jsem si konstrukci a podklady vzorkovacího zařízení od australské firmy ECOTECH – HIVOL 3000. Inspiroval jsem se držákem filtru, který je zde použit, s rozdílem, že se na tomto zařízení vzorkuje na filtr obdélníkového průřezu.

Mým úkolem je konstrukce podobného zařízení, které má být co nejkompaktnější a nejmenší z důvodu lehké manipulace a použití v terénu.

V úvodní teoretické části mé práce se zabývám emisemi výfukových plynů, důvodu jejich měření a jednotlivými škodlivými látkami obsaženými ve výfukových plynech. Následně uvádím jednotlivé metody měření škodlivých částic.

Následující část je zaměřena na výběr jednotlivých komponentů zařízení, jako jsou turbína, filtr, jednotlivé snímače, který mají být nainstalovány v zařízení. Při volbě snímačů jsem se orientoval na již prověřené snímače, které se používají na KVM.

V další části je návrh vzorkovacího zařízení, kde vytvářím model celého zařízení a jednotlivých komponentů. K vymodelování jsem použil program Autodesk Inventor Professional 2011, který vyhovuje požadavkům pro návrh konstrukce sestavy a jejích jednotlivých částí.

## 1. Emise výfukových plynů

Při konstrukci a provozu spalovacích motorů je nedílnou součástí měření obsahu spalin, které vznikají při jejich provozu. Před uvedením daného zařízení do výroby a dále do provozu, pro který bylo zkonstruováno je důležité, splnění požadavků na hladinu emisí a příslušných norem, které jsou klíčovou podmínkou pro úspěch daného zařízení na trhu. [1]

### 1.1. Složení výfukových plynů spalovacího motoru

Za provozu spalovacích motorů, které spalují uhlovodíková paliva se vzduchem vznikají dokonalou oxidací uhlíku a vodíku obsaženého v palivu oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ) a voda ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Při nedokonalé oxidaci těchto prvků jsou ve spalinách přítomny oxid uhelnatý ( $\text{CO}$ ) a vodík ( $\text{H}_2$ ). Při použití vzduchu jako okysličovadla je důležitou složkou spalin dusík ( $\text{N}_2$ ). Při spalování nestechiometrické směsi, např. při přebytku kyslíku, nedojde k jeho úplnému využití pro oxidaci paliva, objevuje se kyslík ( $\text{O}_2$ ) ve výfukových plynech. Kyslík nepatří do skupiny jedovatých složek, avšak tohoto jevu se využívá při rozboru spalin lambda-sondou a následnou úpravou dávky paliva dochází k regulaci směsi na stochiometrickou, tato regulace je nutná pro správnou funkci katalyzátoru. Ve výfukových plynech se vyskytují i škodlivé oxidy dusíku ( $\text{NO}_x$ ), které vznikají za vysokých teplot (často při spalování „chudé směsi“) ve spalovacím prostoru při oxidaci vzdušného dusíku. Při nevhodných provozních podmínkách pro oxidaci paliva jsou přítomny ve výfukových plynech i nespálené uhlovodíky ( $\text{HC}$ ). Za špatného přístupu vzduchu do spalovacího prostoru je ve výfukových plynech také přítomnost sazí (pevného uhlíku). [1]

### 1.1.1. Sledované emisní složky:

CO – Bezbarvý plyn, bez chuti a bez zápachu, lehčí než vzduch, nedráždivý, výbušný. Vzniká při nedokonalém spalování uhlovodíků. V normálních koncentracích v ovzduší poměrně brzo oxiduje na oxid uhličitý  $\text{CO}_2$ .

$\text{CO}_2$  – Bezbarvý plyn, bez chuti a zápachu; není jedovatý, ale zvyšuje účinky CO a podílí se na vzniku skleníkového efektu.

HC – Nespálené uhlovodíky, obsahují karcinogenní aromáty, jedovaté aldehydy a nejedovaté alkany a alkeny, plus další složky. Vznikají v průběhu spalování, pokud není dostatečný přísun kyslíku nebo je příliš bohatá směs a obsah válce dostatečně neprohoří.

$\text{NO}_x$  – Vznikají v motoru za vysokých teplot a tlaků během hoření při nadbytku kyslíku.

$\text{SO}_2$  – Štiplavě páchnoucí, bezbarvý, nehořlavý plyn, napadá sliznici a plíce. Podporuje vznik onemocnění dýchacích cest. Používáním paliva s nižším obsahem síry se obsah oxidu siřičitého ve výfukových plynech sníží.

PM (Saze) – PM (Particulate Matter) částice sazí, způsobují mechanické dráždění, fungují jako nosiče karcinogenů a mutagenů.

$\text{N}_2$  – Dusík je nehořlavý, bezbarvý nejedovatý plyn bez zápachu. Převážná část dusíku se po skončení spalovacího procesu vrací ve výfukových plynech zpět do ovzduší. Malá část reaguje s kyslíkem a vznikají oxidy dusíku  $\text{NO}_x$ .

$\text{O}_2$  – Kyslík je bezbarvý, nejedovatý plyn bez chuti a zápachu. Je nezbytný pro proces spalování.

$\text{H}_2\text{O}$  – Voda ve formě vodní páry, je nasávána spolu se vzduchem [2]

## 2. Systémy měření

Jednoduše lze metody rozdělit na měření pevných částic, do které spadá i toto filtrační zařízení (gravimetrické měření) a měření plynných složek.

### 2.1. Systémy měření pevných částic

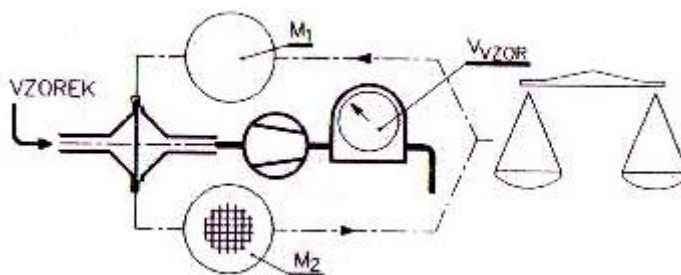
Plynné škodliviny nejsou vidět pouhým zrakem, tudíž musí být měřeny různými měřicími zařízeními. Avšak kouřivost motorů, která je způsobena produkcí pevných částic, je patrná pouhým pohledem, a to mnohdy i bez různých měřicích zařízení. Částice, které vyletují spolu se spaliny působí velmi negativně na okolí „kouřícího“ dopravního prostředku (pracovního stroje).

#### 2.1.1. Přímé hmotnostní měření koncentrace částic

Gravimetrické měření pevných částic je v principu rychlé a jednoduché. Filtr je ze skelných vláken potažených PTFE (Pallflex). Nejdříve se musí filtr zvážit na přesných laboratorních vahách, následně se vloží do filtračního zařízení, kde se přes filtr prosává vzorek spalin. Po ukončení filtrování se filtr vyjme a opět zváží na laboratorních vahách. Hmotnostní koncentrace částic ve filtrovaném vzorku se stanoví:

$$C_{M,PE} = \frac{M_2 - M_1}{V_{vzor}}$$

$M_1, M_2$  hmotnost nového, resp. kontaminovaného filtru  
 $V_{vzor}$  objem celkového prosátého množství spalin, stanovený jako rozdíl konečné a počátečné hodnoty údaje počítadla plynoměru. [1]



Obr. 2.1. Gravimetrické měření obsahu částic. Zdroj:[1]

### 2.1.1.1. Metody ředění spalin

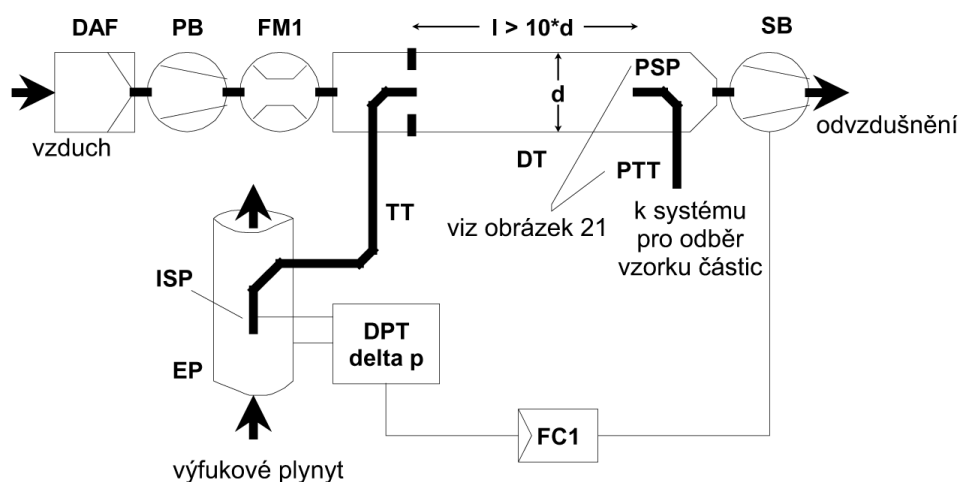
Při odběru výfukových plynů existují různé druhy systémů ředění. Můžeme rozdělit hlavní dvě skupiny ředění, podle toho kolik z celkové produkce výfukových plynů použijeme k rozředění. První postup je nazýván odběr dílčího vzorku, kde k odběru vzorku částic prochází zředěním jen část výfukových plynů. Druhý postup je nazýván odběr celkového vzorku, kde k odběru vzorku částic prochází všechny výfukové plyny zředěním. [3]

#### 2.1.1.1.1. Systém s ředěním části toku

V tomto systému dochází k rozdělení celého toku plynu, a následnému odběru pouze dílčí části toku, který se může provést různými způsoby.

Druhy systémů ředění:

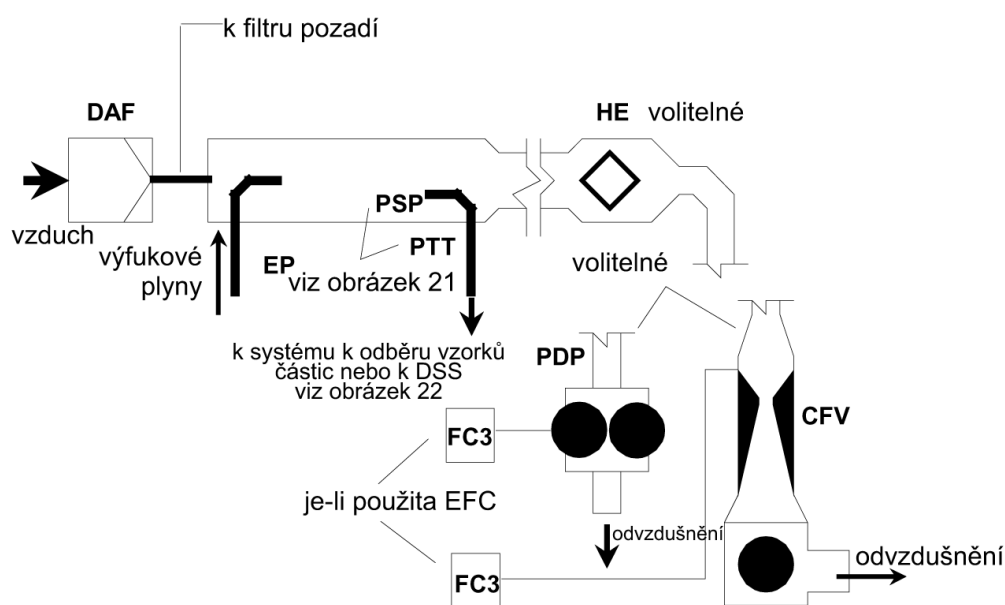
- Izokinetické systémy
- Systémy s řízením průtoku a s měřením koncentrace
- Systémy s řízením průtoku a s měřením průtoku [3]



Obr. 2.2. Systém měření části toku. Zdroj: [3]

### 2.1.1.1.2. Systémy s ředěním plného toku

Na obrázku 2.3. je schéma ředicího systému, které je založeno na ředění celého produkovaného množství výfukových plynů. Ředicí poměr je stanoven ze známého množství produkce spalin motorem a množství přiváděného ředicího vzduchu. Před zachycením vzorku částic prochází vzorek zředěných výfukových plynů systémem určeným pro jeho odběr. Jsou dva způsoby ředění výfukových plynů, jednoduché a dvojitě ředění. [3]



Obr. 2.3. Systém ředění celého toku. Zdroj: [3]

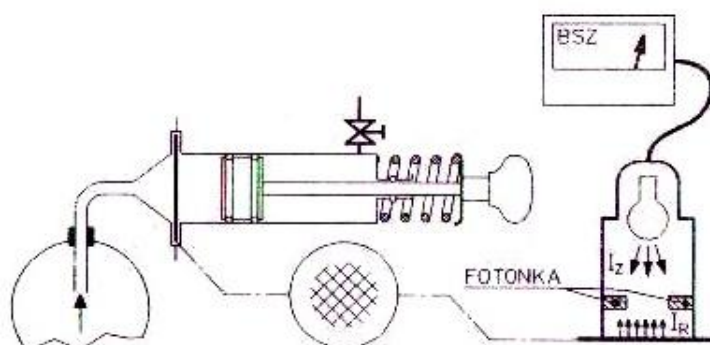
### 2.1.2. Měření kouřivosti filtrační metodou

K měření se používá čistý filtrační papírek, přes který se prosaje určité množství spalin (závisí na průměru pístu a jeho zdvihu v odběrném válci). Pro vyhodnocení použitého papírku se používá reflektivní fotometr. Výsledkem je stupeň zčernání (SZ = Schwarzungszahl ,či Bn = Bosch Number) v jednotkách: °BOSCH [1]

$$Bn = 10 \left( 1 - \frac{I_z}{I_R} \right)$$

$I_z$  ,  $I_R$

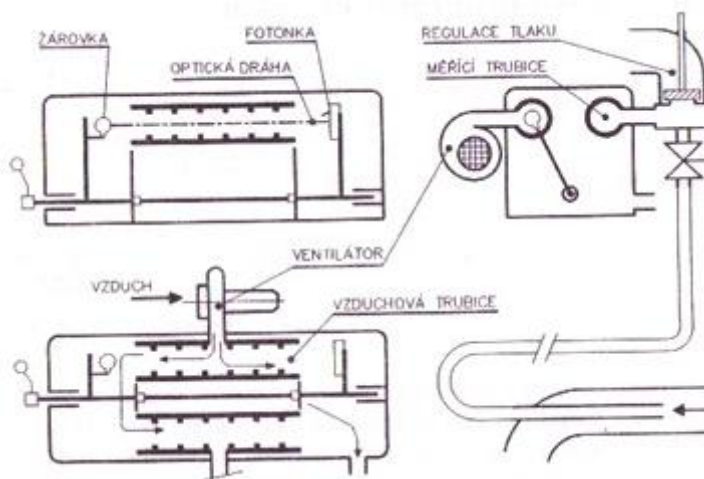
Dopadající a odražené záření



Obr. 2.4. Filtrační kouřoměr Bosch. Zdroj: [1]

### 2.1.3. Opacimetrie

Princip opacimetrie spočívá v prosvěcování sloupce spalin světlem a zjištění podílu prošlého záření. Důležité je hlídat a odstranit zanášení povrchu zdroje a čidla povlakem částic, následné měření by totiž mohlo být zkreslené. Na obr. 2.5. je schéma opacimetru HARTRIDGE. [1]



Obr.2.5. Opacimetr Hartridge. Zdroj:[1]

## **2.2. Metody pro zjišťování koncentrace plyných složek**

### **2.2.1. Měření založené na principu absorpce infračerveného záření**

Infračervené záření emitované zářičem prochází kyvetami s otvory z materiálu propustného pro příslušné vlnové délky. Jedna kyveta naplněná plynem, který nepohlcuje infračervené záření, slouží jako srovnávací. Druhou měřicí kyvetou prochází zkoušený vzorek plynu. Výsledkem je rozdíl v intenzitě prošlého záření. [1]

### **2.2.2. Měření založené na principu absorpce ultrafialového záření**

Ultrafialové záření prochází měřicí kyvetou, kde je částečně pohlceno absorpčně aktivními složkami ve zkoušeném vzorku. Referenční paprsek je veden na korekční detektor. Tato metoda měření se používá pro měření koncentrace oxidů dusíku. [1]

### **2.2.3. Měření s využitím chemické luminiscence**

Tato metoda se používá pro měření koncentrace oxidů dusíku. Vzorek spalin prochází vyhřívaným katalytickým reaktorem, kde dochází k redukci oxidu dusičitého na dusnatý. Tímto způsobem lze měřit NO nebo NO<sub>x</sub>. [1]



### 3. Parametry vzorkovacího zařízení

Požadované parametry:

- kompaktnost zařízení
- správně zvolený typ filtru
- výběr vhodného ventilátoru s regulovatelným průtokem

#### 3.1. Volba filtru pro vzorkovací zařízení

V práci jsem uvažoval dvě varianty:

- a) kruhový filtr o průměru 150mm a jmenovitém průtoku 900dm<sup>3</sup>/min
- b) obdélníkový filtr o rozměrech: 8x10" a jmenovitém průtoku 2500dm<sup>3</sup>/min

Z důvodu požadavku kompaktnosti zařízení se jeví výhodnější varianta a) kruhový filtr, z pohledu zástavby do zařízení je kompaktnější, tudíž lze dosáhnout menších rozměrů zařízení. Dále je pro tuto variantu požadován menší jmenovitý průtok vzorku plynů než u varianty b), proto je zde možno použít menší, méně výkonný ventilátor, který má menší energetické nároky. U filtru varianty b) je nerovnoměrné rozložení toku spalin. Například v rozích filtru prochází méně spalin, než je tomu uprostřed filtru.

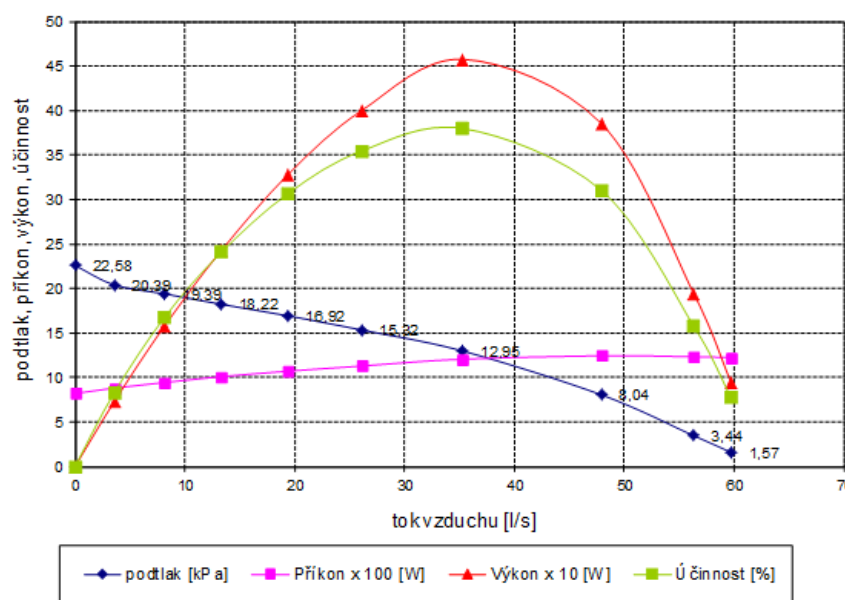
### 3.2. Volba ventilátoru, řízení výkonu ventilátoru

Při výběru vhodného ventilátoru pro vzorkovací zařízení, jsem se orientoval na českou firmu ETA Hlinsko, která má historickou tradici, velkou síť prodejen a specializovaných servisů pro případ potřeby rady či pomoci v otázkách řízení ventilátoru. Kontaktoval jsem zkušebnu firmy ETA, resp. pana Bartoše, který mi zaslal vzduchotechnické charakteristiky tří vybraných vysavačů (ETA Neptun, ETA Profi, ETA Efektiv).

Typ:	Agregát 492.3.404; 230V 50/60Hz
Poznámka:	

Datum	Tlak [Torr]	Teplota [°C]	Pf [W]	Pi [W]	Pm [W]	hm [kPa]	f
23.11.2010	694	20	1225	813	1019		1,0626

Clona d [mm]	Změřený podtlak $h_m$ [kPa]	Změřený příkon $P_1$ [W]	Vypočítaný podtlak $h$ [kPa]	Tok vzduchu $Q$ [l/s]	Sací výkon $P_2$ [W]	Účinnost [%]	Otáčky [ $\text{min}^{-1}$ ]
50	1,48	1223,00	1,57	59,74	93,9	7,68	
40	3,24	1232,00	3,44	56,34	194,0	15,74	
30	7,57	1242,00	8,04	47,91	385,3	31,03	
23	12,19	1205,00	12,95	35,32	457,5	37,97	
19	14,42	1128,00	15,32	26,10	399,9	35,45	
16	15,92	1070,00	16,92	19,41	328,3	30,68	
13	17,15	1008,00	18,22	13,30	242,3	24,04	
10	18,25	943,00	19,39	8,14	157,8	16,74	
6,5	19,19	879,00	20,39	3,57	72,7	8,27	
0	21,25	819,00	22,58	-	-	-	



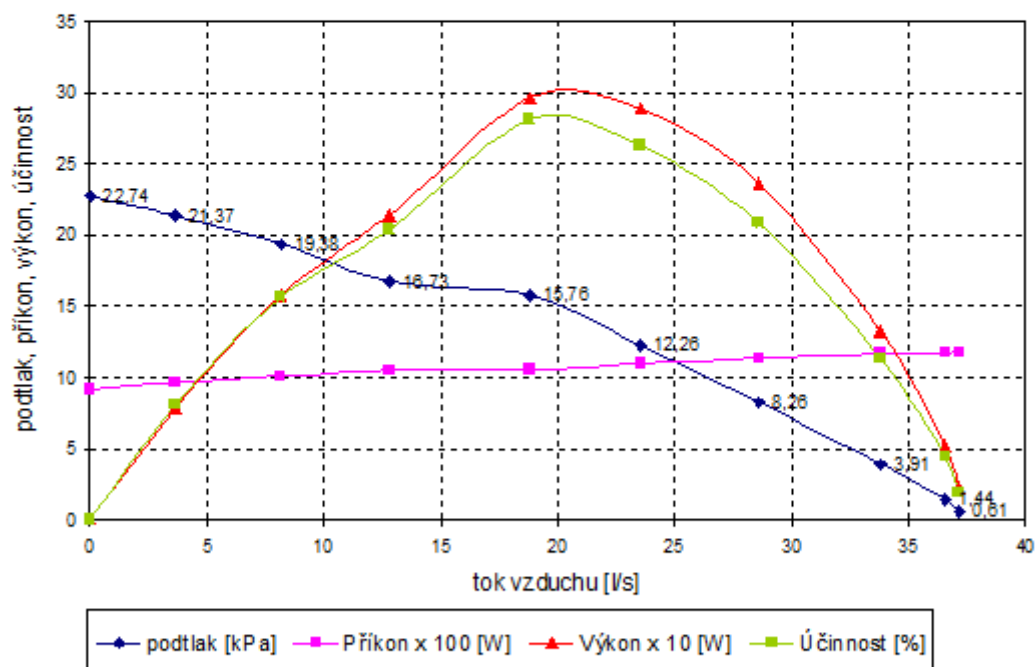
Maximální podtlak $h_{max}$	22,58 kPa
Maximální tok vzduchu $Q_{max}$	62,59 l/s
Maximální sací výkon $P_{2max}$	469,51 W
Maximální účinnost	37,97 %

ČSN EN 60312, čl. 2.8

Obr. 3.1. Vzduchotechnická charakteristika vysavače ETA Neptun. Zdroj:[4]

Datum	Tlak [Torr]	Teplota [°C]	Pf [W]	Pi [W]	Pm [W]	hm [kPa]	f
11.4.2008	694,5	20,5	1181	922	1052		1,0633

Clona d [mm]	Změřený podtlak $h_m$ [kPa]	Změřený příkon $P_1$ [W]	Vypočítaný podtlak $h$ [kPa]	Tok vzduchu $Q$ [l/s]	Sací výkon $P_2$ [W]	Účinnost [%]	Otáčky [min <sup>-1</sup> ]
50	0,57	1179	0,61	37,19	22,5	1,91	
40	1,35	1177	1,44	36,59	52,5	4,46	
30	3,68	1167	3,91	33,81	132,3	11,34	
23	7,77	1134	8,26	28,60	236,2	20,83	
19	11,53	1100	12,26	23,55	288,8	26,25	
16	14,82	1055	15,76	18,79	296,1	28,07	
13	15,73	1052	16,73	12,79	214,0	20,34	
10	18,23	1010	19,38	8,14	157,7	15,62	
6,5	20,10	966	21,37	3,64	77,8	8,06	
0	21,39	916	22,74	-	-	-	



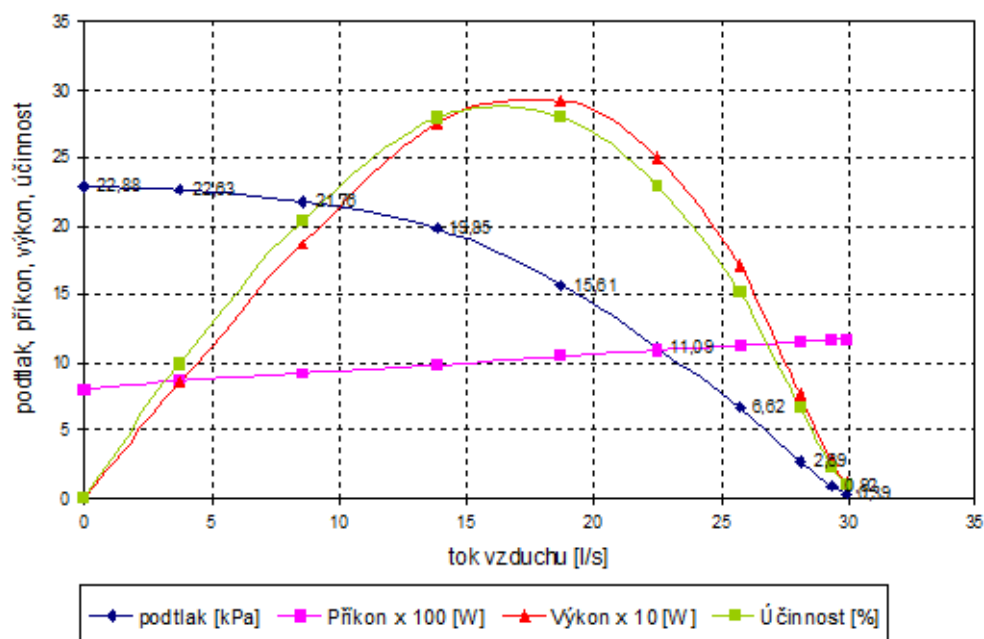
Maximální podtlak $h_{max}$	22,74 kPa
Maximální tok vzduchu $Q_{max}$	37,62 l/s
Maximální sací výkon $P_{2max}$	300,90 W
Maximální účinnost	28,07 %

ČSN EN 60312, 8.2.8

Obr. 3.2. Vzduchotechnická charakteristika vysavače ETA Profi. Zdroj:[4]

Datum	Tlak [Torr]	Teplota [°C]	P <sub>f</sub> [W]	P <sub>i</sub> [W]	P <sub>m</sub> [W]	h <sub>m</sub> [kPa]	f
3.5.2011	699	20	1202	848	1025		1,0575

Clona [mm]	d	Změřený podtlak h <sub>m</sub> [kPa]	Změřený příkon P <sub>i</sub> [W]	Vypočítaný podtlak h [kPa]	Tok vzduchu Q [l/s]	Sačí výkon P <sub>2</sub> [W]	Účinnost [%]	Otáčky [min <sup>-1</sup> ]
50		0,37	1164,00	0,39	29,90	11,7	1,00	
40		0,87	1167,00	0,92	29,33	27,0	2,31	
30		2,54	1148,00	2,69	28,11	75,5	6,58	
23		6,26	1127,00	6,62	25,72	170,3	15,11	
19		10,49	1090,00	11,09	22,48	249,4	22,88	
16		14,76	1046,00	15,61	18,71	292,1	27,92	
13		18,77	985,00	19,85	13,81	274,1	27,83	
10		20,58	914,00	21,76	8,56	186,3	20,39	
6,5		21,40	855,00	22,63	3,73	84,5	9,88	
0		21,64	789,00	22,88	-	-	-	



Maximální podtlak h <sub>max</sub>	22,88 kPa
Maximální tok vzduchu Q <sub>max</sub>	30,31 l/s
Maximální sačí výkon P <sub>2max</sub>	295,41 W
Maximální účinnost	27,92 %

ČSN EN 60312, 8.2.8

Obr. 3.3. Vzduchotechnická charakteristika vysavače ETA Efektiv. Zdroj:[4].

S ohledem na požadavky průtoku, tlakovou ztrátu jsem vybral ventilátor z víceúčelového vysavače ETA Efektiv. Tento ventilátor při požadovaném průtoku 900 dm<sup>3</sup>/min (15 dm<sup>3</sup>/s) dosahuje nejvyšší účinnosti a tlakové ztráty přibližně 20 kPa, což se jeví jako dostatečné. Tento motor je sériový komutátorový, konstruovaný pro napájecí napětí 230V – 50/60 Hz. Motor samostatně neobsahuje sice žádné zařízení pro regulaci výkonu, ale v zabudovaném stavu může být snadno řízen pomocí triakové regulace (fázové řízení).

### 3.3. Volba snímačů

Vysokoobjemové zařízení pro vzorkování částic má obsahovat z důvodu měření průtoku tyto snímače:

- snímač průtoku
- snímač tlaku
- snímač teploty

#### 3.3.1. Snímač průtoku

Vhodný průtokoměr je důležitý pro správný chod vzorkovacího zařízení. Z dat naměřených průtokoměrem (umístěn na trubce odchodu spalín ze zařízení) se řídí otáčky ventilátoru.

Jedná se o nepřetržité měření, proto musí být průtokoměr dostatečně spolehlivý při delších měřeních.

Byl zvolen průtokoměr **Sierra řady 620S** (obr .3.4.), jedná se o termický hmotnostní průtokoměr pro plyny s rychlou odezvou. Tento průtokoměr je také prověřen předchozím úspěšným využíváním na KVM.

Přístroj pracuje s velmi rychlou odezvou (200 ms), což je velmi vhodné pro rychlou regulaci výkonu (otáček) ventilátoru.

Parametry průtokoměru Sierra jsou uvedeny v příloze 1.



Obr. 3.4. Průtokoměr Sierra řady 620S. Zdroj:[8]

### 3.3.2. Snímač tlaku

Pro měření tlaku použiji snímač diferenčního tlaku, který je zapojen na přívodu a odvodu spalin. Toto řešení je z důvodu zjištění tlakové ztráty na filtru a v potrubí. Byl zvolen snímač diferenčního tlaku **OMEGA PX2300**. Tento snímač tlaku je prověřen a používán na KVM.

Údaje od výrobce:

OMEGA PX2300 je kompatibilní s většinou médií, ze suchého vzduchu až po žíravé kapaliny. Všechny stykové části jsou z nerezové oceli nebo elastomerů. Elektronika je umístěna v pouzdře NEMA 4 (IP65). Vysoký pracovní tlak a vysoké hodnoty přetlaku zajišťují spolehlivost v drsném průmyslovém prostředí. Tyto Převodníky jsou ideální pro měření poklesu tlaku přes filtry a další procesy zařízení. [5]



Obr.3.5. Snímač diferenčního tlaku Omega PX2300. Zdroj:[5]

### 3.3.3. Snímač teploty

Pro měření teploty lze využít různých fyzikálních principů a metod, jako např. teplotní roztažnosti látek, změny elektrického odporu vodičů a polovodičů, vznik elektrického napětí atd. [6]

Pro naše zařízení jsem zvolil závitový odporový teploměr **Jumo Vibrotemp PT100**, který je použitelný pro teploty -50 až +270°C a vysoce odolný proti rázům a vibracím.

Popis teploměru:

Odporový teploměr odolný vůči otřesům umožňuje měření teploty pod tlakem v motorech, kompresorech, zemědělských strojích a v železničních vozidlech.

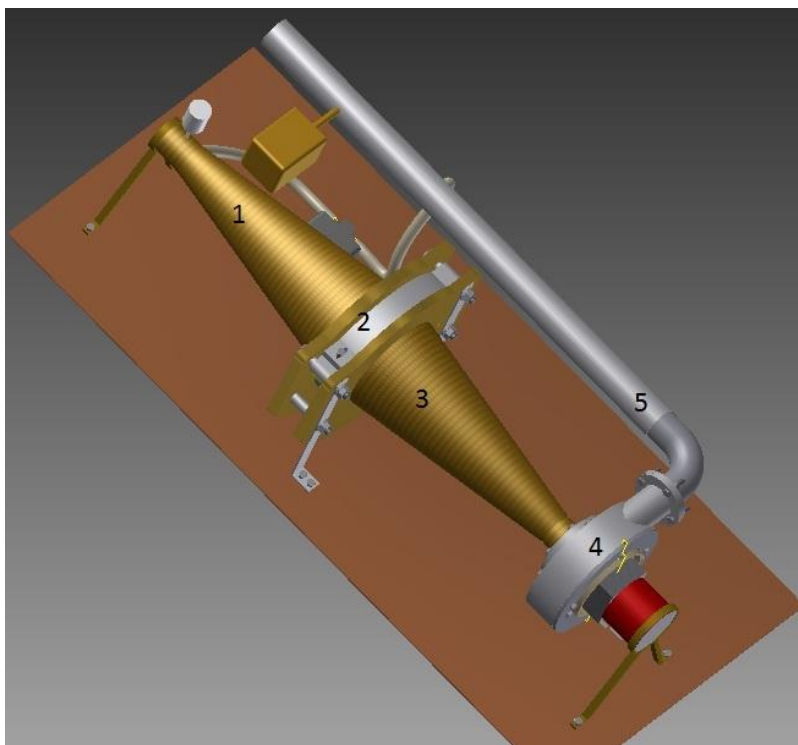
Konektor snímače a připojovacího vedení je zabezpečený proti rozpojení a ve spojeném stavu zaručuje krytí IP67 (IP69K).

Jako teploměrová vložka se sériově používá Pt100 teplotní senzor podle DIN EN 60751, třída B ve dvou vodičovém zapojení, možné jsou i provedení s Pt500 nebo Pt1000 stejně tak i PTC nebo NTC teplotní senzor. [7]

Parametry teploměru Jumo Vibrotemp PT100 jsou obsaženy v příloze 2.

## 4. Konstrukce zařízení

### 4.1. Model sestavy



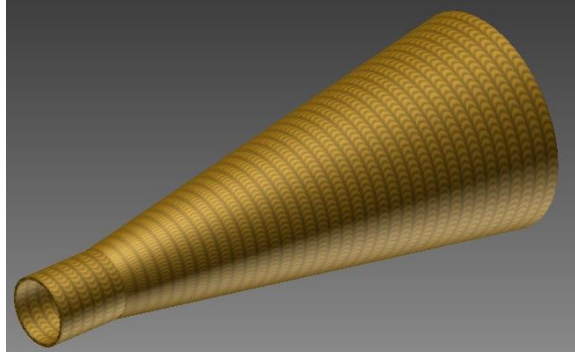
Obr. 4.1. Model sestavy vzorkovacího zařízení

#### Popis zařízení:

Vstup do zařízení začíná 50 mm dlouhou trubkou o průměru 45 mm, navařenou na redukci (1), která zvětšuje průměr na 139 mm. Následně je redukce navařena na horní část držáku filtru (2). Spodní část držáku filtru je opět navařena na redukci (3), která je totožná jako díl (1). Redukce (3), zakončená 50 mm dlouhou trubkou o průměru 45 mm ústí do ventilátoru, který je zakomponován mezi dvě víka (4). Trubka o průměru 45 mm je ukončena přírubou, která je zde připevněna k víku ventilátoru. Obě víka také slouží jako držák ventilátoru a zároveň těsní přívod a odvod proudu spalin ve ventilátoru. Ve víku (4) je vyfrézován radiální otvor pro odvod spalin, do tohoto otvoru se zasune trubka o průměru 45 mm a přivaří se k víku. Druhá část trubky je zakončena přírubou. Na toto ukončení je přišroubovaná příruba kolena, které je navařeno na 700 mm dlouhou trubku o průměru 45 mm (5). Z této trubky se odvádějí spaliny do odvodního potrubí. Celé zařízení je připevněno na 4 vzpěrách k základní desce šrouby M6.



#### 4.1.1. Nerezová redukce



Obr. 4.2. Nerezová redukce

#### Popis a výroba:

Tato součást (na obr. 4.1. uvedena jako číslo 1) se skládá z trubky o vnějším průměru 45 mm, síle stěny 2 mm a o délce 50 mm, která je navařena na redukci. Redukce se vyrobí ze dvou normalizovaných částí, navařených na sebe a zkrácených podle požadovaného průměru (vnitřní průměr je 135 mm, síla stěny 2 mm). Svar se nakonec zabrousí, aby byla vnitřní strana redukce hladká.

Výroba u firmy: Freezart Plus, Liberec

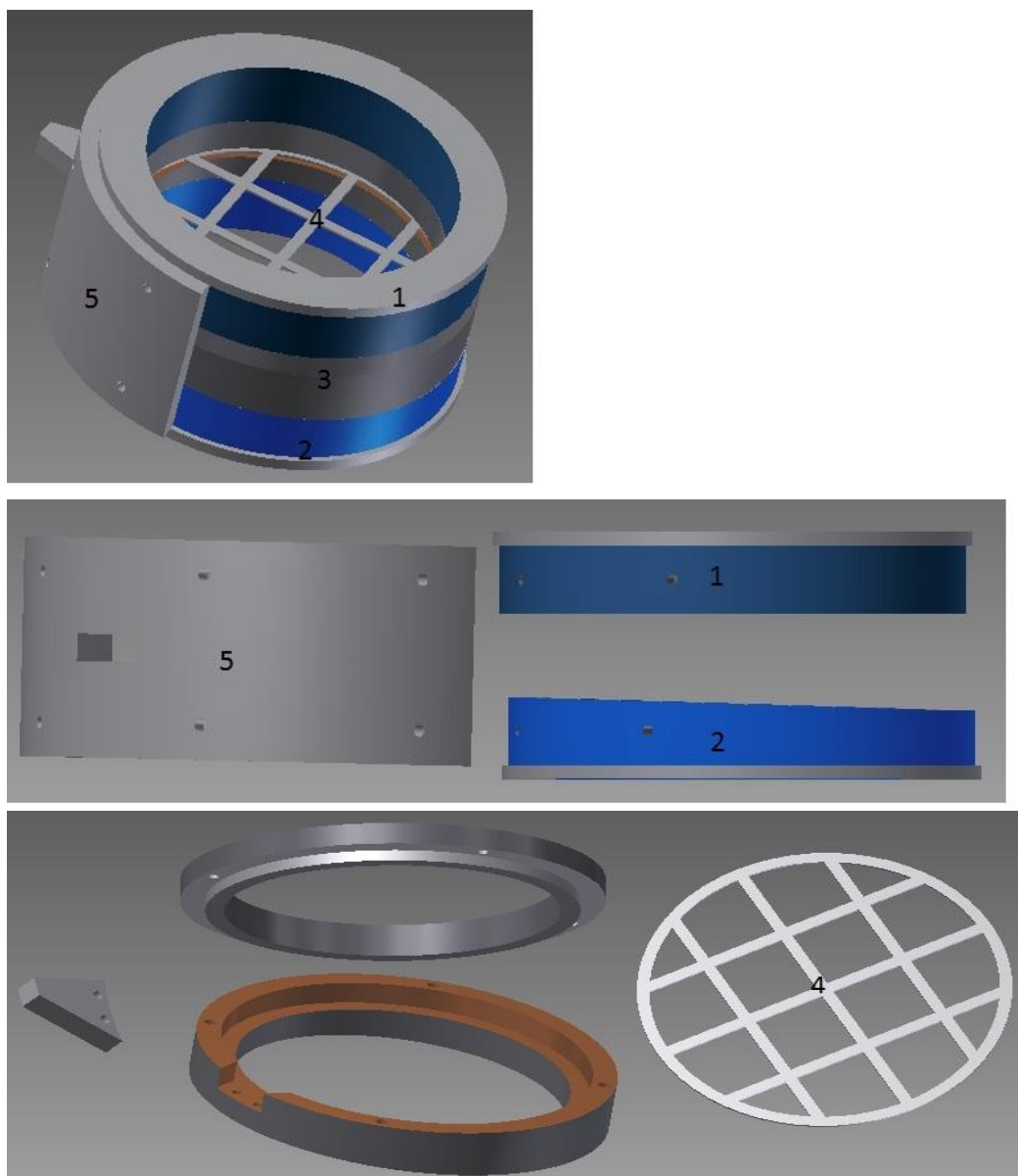
Materiál: nerezová ocel

### 4.1.2. Držák filtru

Při konstrukci zařízení jsem uvažoval dvě varianty držáku filtru. U obou variant je použita vyjímatelná “kazeta” s filtrem, která se zasouvá do pevného přípravku.

Spodní hrana přípravku je zešíkmená, aby kazeta mohla být volně vsazena do přípravku a držela v této pozici.

a) První varianta:



Obr. 4.3. Držák filtru a)

**Popis a výroba:**

Držák filtru a) se skládá z: horního víka (1), dolního víka (2), kazety (3), půlkruh (5), 8 šroubů M6, 8 podložek o průměru 8mm

Sestavení: Horní víko je spojeno s půlkruhem 4 šrouby M6, stejně tak je spojeno i dolní víko 4 šrouby M6. Do tohoto držáku se zasouvá kazeta (3) s filtrem. Pro správné zasunutí do držáku je na kazetě zub, který se zasune do drážky vyfrézované v půlkruhu (5).

Kazeta se skládá ze 4 částí: dolní část držáku filtru, horní část držáku filtru, zub a mřížka (4).

V dolní části držáku filtru je vysoustružena drážka o průměru 150mm do které se položí mřížka. Na mřížce je jemné sítko, které drží filtr. Na filtr se položí teflonové těsnění a celé se to uzavře horní částí držáku filtru. Horní a dolní část držáku filtru se spojí 8 magnety, které jsou ve vyvrtaných dírách z důvodu pevného spojení a jednoduché rozebíratelnosti. Zub umístěný v dolní části držáku je upevněn dvěma kolíky. V dolním a horním víku je vyfrézovaná drážka pro O-kroužek, který zaručí těsnost kazety s horním a spodním víkem.

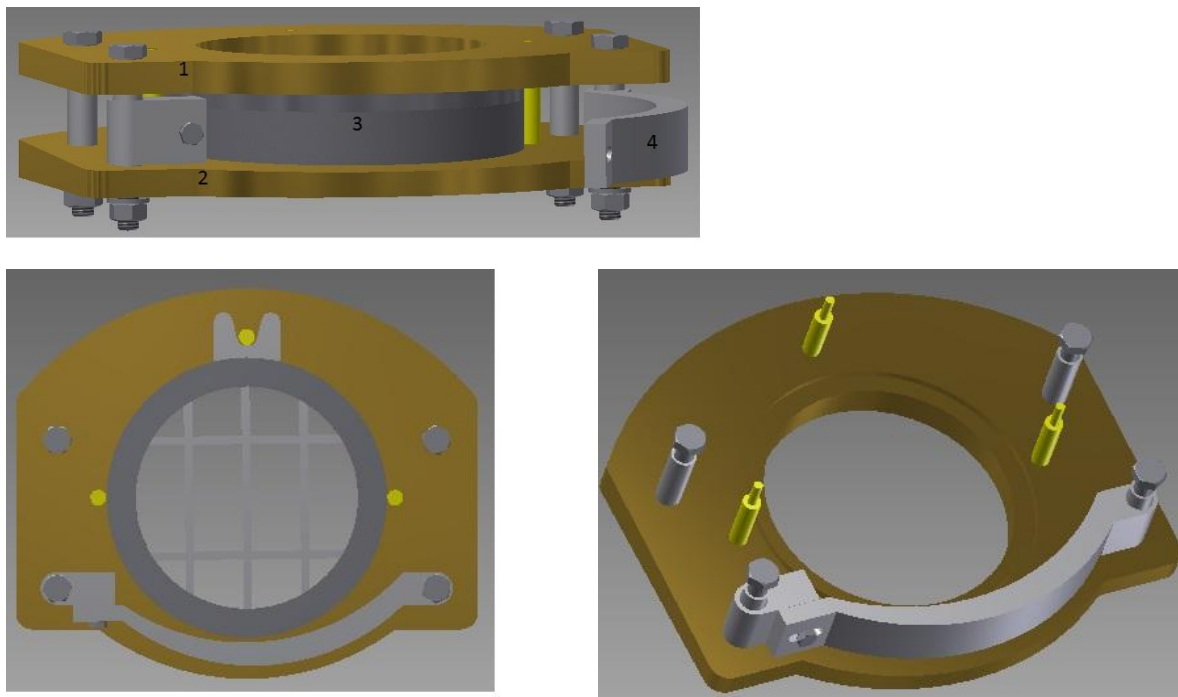
Díly: horní víko, dolní víko, zub, půlkruhové spojení a mřížku vyrobí firma S-plasma Liberec, vyříznutím vodním paprskem.

Díly: horní a dolní část držáku filtru se vyrobí soustružením na katedře KVM.

Materiál:	horní víko, spodní víko, mřížka	nerezová ocel
	středící zub, horní a dolní část držáku filtru	slitina hliníku
	půlkruhové spojení	konstrukční ocel

Výhody: jednodušší konstrukce, menší počet dílů, menší hmotnost držáku.

## b) Druhá varianta



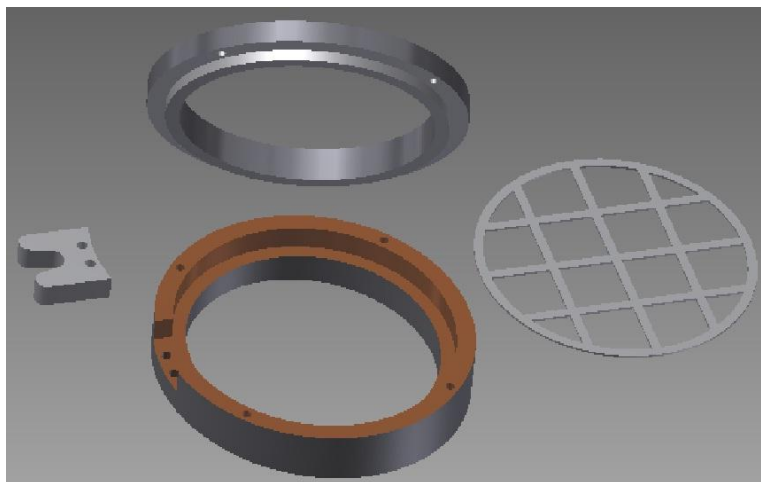
Obr. 4.4. Držák filtru b)

**Popis a výroba:**

Držák filtru b) se skládá z: horního víka (1), dolního víka (2), kazety (3), páky (4), 4 sloupků, 3 válečků, 4 šroubů M10, 4 matice M10, 4 podložky o průměru 10mm, 1 šroub M6

Sestavení: Do dolního víka se zasunou 3 válečky(žluté), 4 sloupky kterými procházejí šrouby M10. Na dva přední válečky se nasune páka s úchytem. Dále se přiloží horní víko, které má stejné otvory pro válečky a sloupky jako dolní víko. Nakonec se utáhne držák 4 šrouby M10, které procházejí sloupky.

Ve spodním i dolním víku je vyfrézovaná drážka pro O-kroužek, který zajišťuje těsnost. Díly: horní víko, dolní víko, zub, a mřížku vyrobí firma S-plasma Liberec, vyříznutím vodním paprskem. Válečky a sloupky se vysoustruží na KVM.



Obr. 4.5. Kazeta držáku filtru b)

Kazeta držáku filtru b) je stejná jako kazeta držáku filtru a), s jediným rozdílem, že je zde použit jiný středící zub. V zubu je vyříznuta drážka, která se nasune na váleček a zároveň slouží jako doraz kazety. Po stranách dolního víka jsou dva válečky, které vedou kazetu v držáku při jejím nasouvání. Páka připevněná na sloupku slouží k zavírání kazety do držáku a má za úkol zamáčknout ji a pevně držet na místě. Páka se přišroubuje k úchytu na druhém sloupku.

Díly horní a dolní část držáku filtru se vyrobí soustružením na KVM.

Materiál:	horní víko, spodní víko, mřížka	nerezová ocel
	středící zub, horní a dolní část držáku filtru	slitina hliníku
	sloupky, válečky, páka	konstrukční ocel

Výhody: modularita držáku, držák je možné po lehké úpravě předělat i pro upevnění kazety, ve které bude umístěn sorbent plyných organických látek, tzn. při použití delších sloupků se zvětší výška držáku, takže bude možné vložit i druhou kazetu

Pro vzorkovací zařízení vybírám i přes složitější konstrukci variantu b), z důvodu možnosti dalších úprav a rozšíření použitelnosti (možno vložit kazetu se sorbentem plyných organických látek).

#### 4.1.2.1. Těsnění filtru

Pro výrobu těsnění filtru na vzorkovacím zařízení použijí inertní materiál, který nijak nereaguje s výfukovými spalinami.

Vyvarují se materiálům jako jsou pryžová těsnění a použijí materiál PTFE.

Materiál: PTFE

Rozměry: vnitřní průměr 135mm

vnější průměr 150mm

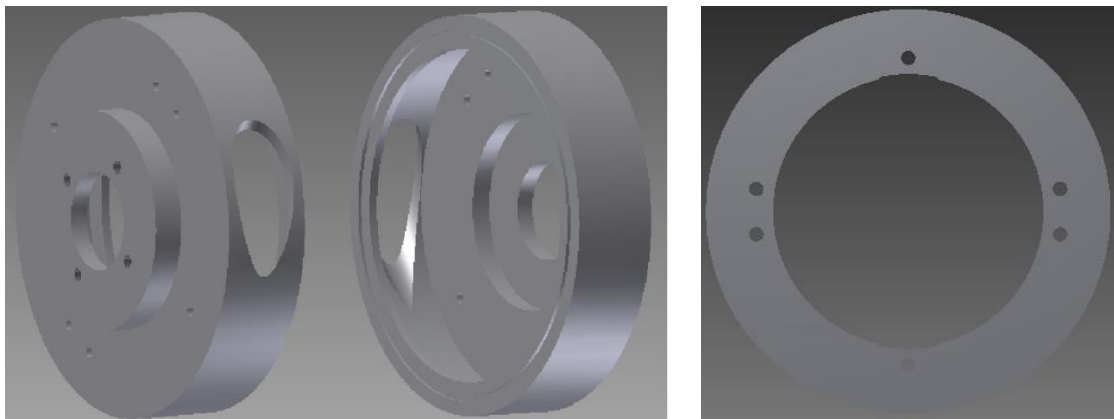
výška 3mm

výrobce: Target Plus Liberec



Obr. 4.6. Teflonové těsnění.

### 4.1.3. Víka ventilátoru



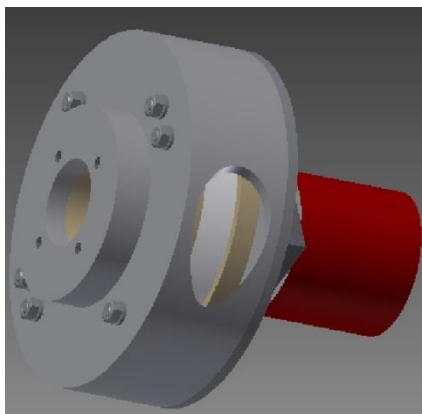
Obr. 4.7. Víko 1 a Víko 2

Víko 1 bude vyrobeno z hliníkové slitiny. Na čelní straně bude vyvrtáno 6 průchozích otvorů, ve kterých budou spojovací šrouby. Dále se vyvrtají 4 otvory a v nich se vytvoří vnitřní závit M6. Zde bude přišroubována příruba. V otvoru o průměru 45mm bude zastrčena trubka pro přívod spalín do ventilátoru. Na obvodu víka bude vyfrézován otvor ve tvaru elipsy pro radiální odvod spalín. V zadní straně bude vyfrézována drážka pro O-kroužek, který bude zajišťovat těsnost mezi víkem 1 a víkem 2.

Víko 2 bude vyrobeno ve firmě S-plasma Liberec z hliníkového plechu o tloušťce 5mm, bude vyříznuto vodním paprskem.

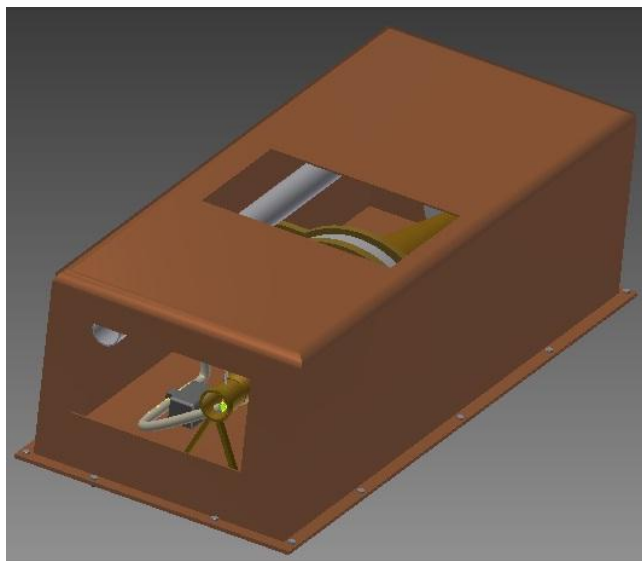
Obě víka budou spojena 6 šrouby M6.

Materiál: slitina hliníku



Obr. 4.8. Ventilátor sestavený s víkem 1 a víkem 2

#### 4.1.4. Skříň zařízení



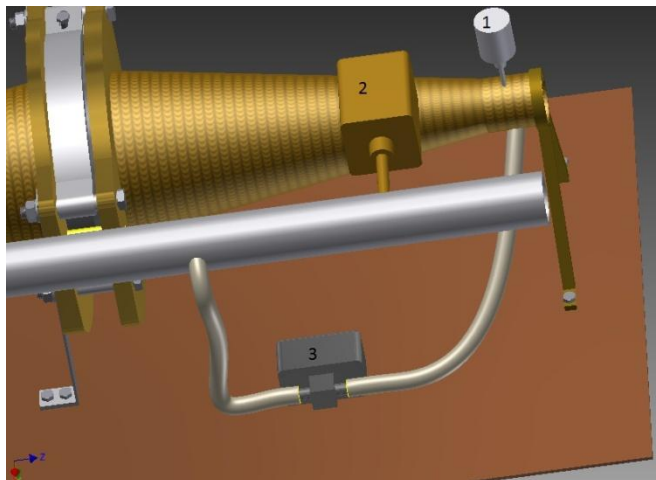
Obr. 4.9. Skříň zařízení

Skříň (vyrobená z polypropylenu) se skládá ze základní desky, ke které je připevněno celé vzorkovací zařízení. Druhou částí skříně je horní víko, které uzavírá celé zařízení. V horním víku jsou 2 otvory. První otvor je z horní strany víka, sloužící pro montáž a demontáž kazety do držáku filtru. Druhý otvor je z přední strany, sloužící k připojení trubky nasávaných spalin a trubky odvodu spalin ze zařízení. Horní víko je k základní desce spojeno 14 šrouby M6. Skříň bude vyrobena u firmy Balast Liberec, která se zabývá výrobou bazénů, jímek a nádrží z polypropylenu. Výhodou polypropylenu je elektrická nevodivost, takže celé zařízení bude bezpečné pro použití.

vnější rozměry:	1000x450x300 mm (délka, šířka, výška)
materiál:	polypropylen
výrobce:	Balast s.r.o. Liberec



#### 4.1.5. Zástavba snímačů



Obr. 4.10. Zástavba snímačů

Snímač teploty **Jumo Vibrotemp PT100 (1)** bude umístěn na vstupu zředěného vzorku spalín do zařízení, přímo na trubce o průměru 45mm. Snímač průtoku **Sierra řady 620S (2)** má být umístěn z důvodu ustálení proudu plynu ve vzdálenosti alespoň 10x průměr trubky od ústí ventilátoru. V tomto případě to znamená vzdálenost alespoň 450mm od ústí ventilátoru. Snímač průtoku je umístěn na trubce odchodu zředěného vzorku spalín ze zařízení. Snímač diferenčního tlaku **Omega PX2300 (3)** je umístěn na základní desce. Za úkol má snímat tlak na vstupu zředěného vzorku spalín do zařízení (podobně jako snímač **1**) a tlak na odchodu spalín ze zařízení, na trubce o průměru 45mm.

#### 4.2. Rozpis materiálů

Nerezová ocel:	2x redukce + 50 mm dlouhá trubka o průměru 45 mm
	700 mm dlouhá trubka o průměru 45 mm
	90° koleno o průměru 45 mm
	6 x příruba
	díly držáku filtru b) : horní část
	dolní část
	mřížka pod filtr

Slitina hliníku:	víko 1
	víko 2
	50 mm dlouhá trubka o průměru 45mm
	příruba
	díly držáku filtru b) : zub
	horní část držáku
	dolní část držáku
Konstrukční ocel:	díly držáku filtru b) : sloupky
	válečky
	páka

### 4.3. Ventilátor zařízení

Při volbě ventilátoru jsem se zaměřil na české firmy, resp. na firmu ETA Hlinsko, od které byl vybrán vhodný ventilátor. Pro koupi ventilátoru jsem zašel do značkového obchodu ETA, ale i do specializovaného servisu v Hradci Králové, který se zabývá opravou těchto vysavačů. V obou prodejnách mi bylo řečeno, že samotně ventilátor, jako náhradní díl do tohoto vysavače (ETA Efektiv) nelze objednat. Proto bylo nutné zakoupit kompletní vysavač a následně ventilátor demontovat.



Obr. 4.11. Demontáž ventilátoru.

### 4.3.1. Triakový regulátor

Pro řízení výkonu ventilátoru použijí triakový regulátor. Triakový regulátor bude ovládán z dat naměřených snímači přes servopohon.

Údaje od výrobce: Triakovým regulátorem lze regulovat svítidla, tepelné spotřebiče-vařiče, topidla do příkonu 2300W nebo vrtačky a komutátorové motory.

Zapojení je katalogové, s regulačním RC členem a diakem.

parametry:     napájecí napětí  $U=230V$

                  regulovaný proud  $I=2A$

výroba na katedře KVM



Obr. 4.12. Triakový regulátor.

## 5. Závěr bakalářské práce

V bakalářské práci jsou krátce popsány emise výfukových plynů a systémy měření těchto emisí. Nejvíce zde rozepisují metody měření pevných částic, které se přímo vztahují k této práci.

Navrhl jsem držák filtru, který je kompaktní svými rozměry. Splňuje požadavky na snadnou výměnu, vlastně se jedná pouze o vysunutí a zasunutí kazety do držáku a následné zajištění pákou na svém místě. Pro ochranu proti protržení je v kazetě nejdříve nerezová mřížka s velkými otvory, která slouží jako nosná část. Na mřížce je položeno jemné sítko, aby nedošlo k protržení filtru. Z horní strany je filtr utěsněn těsněním z PTFE a přimáčknut horním víkem.

Jako vhodný ventilátor byl nalezen ventilátor z běžného vysavače od české firmy ETA Hlinsko, který splňuje požadavky na průtok a tlakovou ztrátu. Řízení průtoku je řešeno pomocí triakového regulátoru, který je možno doplnit o ovládání z údajů od snímačů přes servopohon (není cílem práce). V současné době není řízení průtoku zcela dořešeno, protože při zkoušce ventilátoru a triakového regulátoru docházelo k lehkému kolísání otáček, avšak k reakcím na změnu otáček docházelo rychle.

Návrh uspořádání celého zařízení je na Obr. 4.1. Skříň pro zařízení je navržena z polypropylenu, takže je zde zaručena bezpečnost použití zařízení při použití vysokého napětí 230V a také co nejlehčí stavba, při dodržení pevnosti skříně. Zástavba snímačů je na Obr. 2.10. , kde je schéma modelu se snímači průtoku, tlaku a teploty.

V práci jsem vybral variantu s kulatým filtrem o průměru 150mm, protože je vhodnější pro konstrukci kompaktního zařízení než obdélníkový filtr. Pro tuto variantu je v práci uveden rozpis materiálů, způsob výroby jednotlivých dílů a výkresy potřebné k sestrojení prototypu jsou přiloženy v příloze.

Stavba zařízení a výroba některých dílů probíhá na KVM Technické univerzitě v Liberci. Výroba zbylých dílů je popsána v práci a jsou zde uvedeny i jednotlivé firmy, kterým byla samotná výroba zadána. Podílel jsem se na koupi vysavače a následné demontáži ventilátoru, zadával jsem objednávky a výrobu jednotlivých dílů ve firmách.

### 5.1. Seznam literatury:

1. Michal Takáts : Měření emisí spalovacích motorů. Vydavatelství ČVUT, Praha, 1997 [ISBN 80-01-01632-3]
2. <http://cs.autolexicon.net/articles/emise-vyfukovych-plynu/>
3. EU- legislativa měření emisí, Předpis č. 49 Evropské hospodářské komise Organizace spojených národů
4. Zkušebna fy ETA a. s., Hlinsko
5. <http://www.omega.com/ppt/pptsc.asp?ref=PX2300#order>
6. Doc. Ing. Josef Jenčík, CSc., doc. Ing. Jaromír Volf, DrSc. a kolektiv : Technická Měření. Vydavatelství ČVUT, Praha, 2003 [ISBN 80-01-02138-6]
7. [http://www.jumo.cz/produkty/temperatur/odporové-teploměry/celkový-přehled/902040/jumo-vibrotemp-závitový-odporový-teploměr-s-konektorem-902040-původní-znacení-902004.html?parentId=3397](http://www.jumo.cz/produkty/temperatur/odporove-teplomery/celkovy-prehled/902040/jumo-vibrotemp-zavitovy-odporovy-teploměr-s-konektorem-902040-původní-znacení-902004.html?parentId=3397)
8. <http://www.sierrainstruments.com/products/620.html>

**5.2. Rozpočet:**

Vysavač ETA Efektiv	2712 Kč
Neodymové magnety 16ks	165 Kč
Těsnění z PTFE	617 Kč
Nerezové díly od firmy Freezart	cca 2500 Kč

**Poznámka:**

Označování výkresů - KVM -BP - XXX

### **5.3. Přílohy**

#### **5.3.1. Listy snímačů**



### **5.3.2. Výkresová dokumentace**